

Nowa technologia nawęglania próżniowego PreNitLPC® a nawęglanie konwencjonalne – porównawcza analiza kosztów

SYLWESTER PAWĘTA
PIOTR KULA
ROBERT PIETRASIK
JÓZEF OLEJNIK

Wymogiem współczesnego, konkurencyjnego rynku jest, aby firmy ciągle podnosiły jakość produktów, wprowadzały ich nowe wersje, a jednocześnie utrzymywały lub nawet redukowały koszty. Kryterium ekonomiczności, funkcjonalność i bezpieczeństwo to główne wymagania stawiane współczesnym produktom i technologiom. Synergiczne działanie tych trzech czynników decyduje o sukcesie rynkowym [1].

W artykule przedstawiono wyniki porównawczej analizy kosztów technologii konwencjonalnego nawęglania gazowego wykorzystującego atmosferę endotermiczną (ENDO) oraz wysokotemperaturowego nawęglania próżniowego z przedazotowaniem, technologię PreNitLPC®, która jest nowoczesnym, wkraczającym dopiero na rynek rozwiązaniem opracowanym przy współpracy Instytutu Inżynierii Materiałowej Politechniki Łódzkiej i firmy Seco/Warwick S.A. Technologia pomocowa PreNitLPC® może być realizowana w jednokomorowych piecach Seco/Warwick HPGQ typu VPT, w piecach dwukomorowych z chłodzeniem w gazie (HPGQ) lub w oleju hartowniczym oraz w komorach procesowych systemów modułowych do nawęglania próżniowego (rys. 1).

Technologia ta polega na podawaniu amoniaku we wstępnej fazie procesu – w etapie nagrzewania do nawęglania (rys. 2). Dzięki temu uzyskane warstwy nawęglone przy wyższych niż tradycyjne temperaturach procesu nie wykazują cech rozrostu ziarna. Pozwala to na znaczne skrócenie czasu procesu nawęglania przez podniesienie jego temperatury

nawet do 1100°C. Poza tym warstwy wytworzone w podwyższonych temperaturach z zastosowaniem wstępnego azotowania cechują się podobnymi właściwościami wytrzymałościowymi jak nawęglane w niższych temperaturach. PreNitLPC® jest nowoczesną, ekonomiczną odmianą nawęglania przy obniżonym ciśnieniu, pozwalającą na znaczną intensyfikację tego procesu. Technologia ta chroniona jest patentami krajowymi [2] i międzynarodowymi [3, 4].

Podawanie azotu w etapie nagrzewania wsadu prowadzi do wydzielania nanometrycznych azotków i/lub węglikoazotków, które stanowią heterogeniczne źródła zarodkowania ziaren austenitu oraz blokują ich rozrost w etapie nawęglania. Powoduje to znacznie większe rozdrobnienie ziaren w porównaniu z technologiami konwencjonalnymi, jak również z technologią nawęglania próżniowego, a więc pozwala na intensyfikację procesu przez wzrost temperatury obróbki, bez utraty właściwości wytrzymałości-



Rys. 1. Przykładowe piece firmy Seco/Warwick

Mgr Sylwester Pawęta jest doktorantem, prof. dr hab. inż. Piotr Kula, dr inż. Robert Pietrasik są pracownikami Politechniki Łódzkiej, Wydziału Mechanicznego, Instytutu Inżynierii Materiałowej, a inż. Józef Olejnik jest pracownikiem firmy Seco/Warwick w Świebodzinie.

W niektórych przypadkach, np. wytrzymałości zmęczeniowej, uzyskuje się nawet nieco lepsze właściwości utwardzonych warstw wierzchnich [5].

Analiza kosztów realizowanej dla określonej technologii produkcji, organizacji procesu produkcyjnego

Rys. 2. Schemat przebiegu procesu nawęglania próżniowego wg metody PreNitLPC®

lub konkretnego urządzenia opiera się głównie na analizie zużycia energetycznego. Równie istotne jednak są koszty wynagrodzenia i amortyzacji, która wiąże się z wartością początkową urządzenia, oraz podatków czy usług obcych.

Przedstawiona analiza ma za zadanie porównanie ekonomiczne technologii ENDO oraz PreNitLPC® przy przyjęciu określonych, uniwersalnych dla obu technologii założeń rodzaju kosztów.

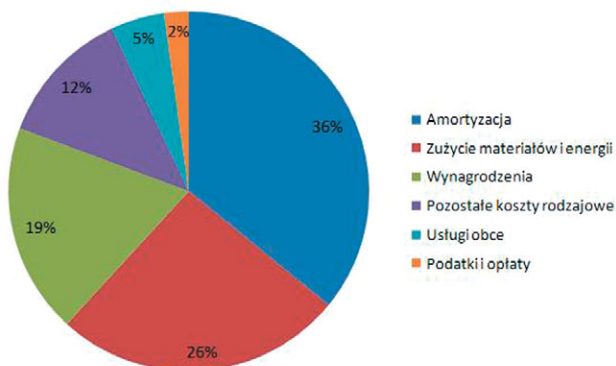
Założenia

Układ rodzajowy kosztów jest układem uniwersalnym, międzybranżowym, gdyż w każdym przedsiębiorstwie, niezależnie od profilu prowadzonej działalności, można wyodrębnić takie same ich rodzaje. Wynagrodzenia, ubezpieczenia społeczne, amortyzacja, podatki, zużyte materiały i energia czy usługi obce, to rodzaje kosztów, z którymi spotykamy się zarówno w hucie szkła, zakładzie produkującym części samochodowe, jak i w hartowni usługowej [6]. Metoda porównawcza w tym przypadku polega na stworzeniu modeli dwóch analogicznych podmiotów gospodarczych realizujących tę samą usługę (nawęglanie stali), ale opartych na różnych technologiach: nawęglaniu konwencjonalnym oraz PreNitLPC®. Wyniki przedstawiane są w wartościach pieniężnych oraz względnych wartościach procentowych, gdzie bazą równą 100% jest technologia ENDO, do której odnoszona jest technologia PreNitLPC®.

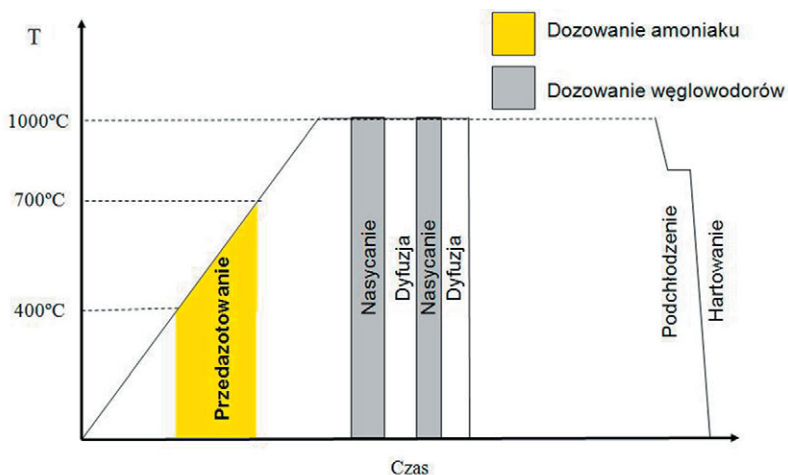
Należy zaznaczyć, że zgodnie z praktyką przemysłową bazą do porównywania relatywnie cienkich warstw nawęglanych (do 1,2 mm) jest proces ENDO realizowany w temperaturze 930°C, natomiast dla warstw grubszych (2 ÷ 5 mm) temperaturą odniesienia jest 980°C.

Na potrzeby prowadzonej analizy przyjęte zostały następujące założenia:

- Monitoring działalności podmiotu pod względem ponoszonych kosztów – 1 miesiąc (22 dni robocze [7]). Przy założonej pracy trzymianowej – 528 godzin/miesiąc.



Rys. 3. Średni udział poszczególnych pozycji kosztów w kosztach całkowitych analizowanych podmiotów



- Monitoring procesu pod względem czasu oraz zużycia energii, z uwzględnieniem 30-minutowych przerw na czas załadunku oraz rozładunku partii.

- Rozmiar komory roboczej pieca – 600 x 600 x 900 mm.
- Obrabiany wsad – 400 kg brutto (270 kg netto).
- Ośrodek hartowniczy – olej.
- 80% wykorzystanie mocy przerobowej (konieczność konserwacji i przeglądów itp.).

Analiza pozycji kosztów

Poszczególne pozycje kosztów układu rodzajowego zostały przeanalizowane według ich procentowego udziału w koszcie całkowitym, który przedstawiono na rys. 3.

Jak widać, głównym obciążeniem dla podmiotów jest **amortyzacja**. Amortyzacja jest odpowiednikiem pieniężnym zużycia środków trwałych oraz wartości niematerialnych i prawnych, zaliczanym do kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa. Wliczana jest więc do kosztu własnego produktu. Do pozycji amortyzacja zalicza się więc koszty planowych odpisów odzwierciedlających zużycie środków trwałych oraz wartości niematerialnych i prawnych, służących działalności podstawowej jednostki [8]. Pomimo aż 50% różnicy w koszcie samego pieca (ENDO – 1 mln PLN, a PreNitLPC® – 1,5 mln PLN), różnica w amortyzacji wynosi już tylko 13%, co wynika z braku zapotrzebowania technologii próżniowej na generator atmosfer [9].

Zestawienie kosztów amortyzacji porównywanych technologii (w nawiasach przedstawione są amortyzowane środki trwałe) wygląda następująco:

- ENDO 20 384 zł/mies. (100%) (piec, generator atmosfer, urządzenie do załadunku, myjka, piec do odpuszczania, wózek widłowy, samochód osobowy, zestawy komputerowe),
- PreNitLPC® – 23 051 zł/mies. (113,1%) (piec, urządzenie do załadunku, myjka, piec do odpuszczania, wózek widłowy, samochód osobowy, zestawy komputerowe).

Zużycie materiałów i energii. Na tę pozycję składają się: zużycie materiałów podstawowych i pomocniczych stosowanych w procesie wytwarzania (olej do hartowania), zużycie materiałów technicznych oraz części zapasowych, zużycie materiałów gospodarczych, biurowych, reklamowych, informacyjnych, koszty zużytej w przedsiębiorstwie energii:

elektrycznej i ciepłej, sprężonego powietrza, koszty zimnej i ciepłej wody. W obliczeniach uwzględniony jest także pobór mediów podczas przestoju pracy w weekend przy technologii ENDO.

W tab. I przedstawiono koszt miesięcznego zużycia materiałów i energii przez podmioty realizujące procesy przy określonych wcześniej założeniach.

TABELA I. Miesięczne koszty zużycia materiałów i energii

Koszty, PLN	Technologia procesu			
	ENDO		PreNitLPC®	
	930°C	980°C	980°C	1030°C
0,4	16 555 (100%)	X	17 940 (105,9%)	18 304 (107,8%)
0,6	15 496 (100%)	X	18 056 (112,5%)	18 544 (115,1%)
0,9	14 670 (100%)	X	17 856 (116,5%)	18 270 (118,9%)
1,2	13 983 (100%)	X	17 155 (117,1%)	17 889 (121,3%)
2,0	X	13 776 (100%)	15 799 (117,5%)	17 105 (125,6%)
3,0	X	12 957 (100%)	14 858 (114,8%)	15 872 (121,2%)
5,0	X	12 048 (100%)	13 272 (112%)	14 885 (123%)

Jak widać z przedstawionego zestawienia, w zależności od głębokości nawęglania technologia PreNitLPC® pod względem zużycia materiałów i energii jest w skali miesiąca droższa od 6 do 26%, w porównaniu z technologią ENDO.

Kolejną pozycję stanowią **wynagrodzenia i świadczenia pracownicze**. Obliczenia przedstawiają nie tylko wynagrodzenie brutto, ale całkowite finansowe obciążenie pracodawcy i stanowią 19% udziału w miesięcznych kosztach całkowitych. Do symulacji przyjęto średnie wynagrodzenie w sektorze przedsiębiorstw przemysłowych za 2009 rok, to jest 2976,85 zł brutto (całkowite obciążenie pracodawcy 3520,57 zł) [10]. Odnosząc to do porównywanych technologii otrzymujemy:

- ENDO – 3,5 etatu pracownika produkcyjnego = 12 322 zł miesięcznie (100%)
- PreNitLPC® – 3 etaty pracowników produkcyjnych = 10 562 zł miesięcznie (85,7%)

Różnica wynika z faktu, że w przypadku technologii konwencjonalnej nie wszystkie urządzenia są wyłączane podczas przestojów (np. piece, generator atmosfer). Rodzi to konieczność większego zatrudnienia, gdyż urządzenia, jeśli działają, muszą być dozorowane przez pracownika ze względów bezpieczeństwa. Wydatki na pracowników zostały również powiększone o koszty fakultatywne w wysokości 500 zł miesięcznie na cały zespół.

Pozostałe koszty rodzajowe, takie jak: koszty delegacji oraz eksploatacji i utrzymania samochodu, koszty reprezentacji i reklamy, ubezpieczenia majątkowe, wynoszą:

- ENDO – 6895 zł/mies. (100%),
- PreNitLPC – 8029 zł/mies. (116,4%).

Technologia PreNitLPC® jest droższa w tej pozycji o 16,4%. Różnica wynika z większych kosztów reprezentacji i reklamy. Technologia PreNitLPC®, jako nowa technologia wchodząca dopiero na rynek, wy-

maga więcej działań marketingowo-promocyjnych niż technologia konwencjonalna. Na różnice wpływa też kwota ubezpieczenia majątkowego wynikająca z większej wartości środka trwałego w technologii PreNitLPC®.

Usługi obce: transport, składowanie i magazynowanie, usługi pocztowe i telekomunikacyjne, usługi bankowe z wyjątkiem odsetek i prowizji od kredytów, które ujmowane są w segmencie działalności finansowej, najem, dzierżawa.

- ENDO – 2876 zł/mies. (100%),
- PreNitLPC® – 2876 zł/mies. (100%).

Podatki i opłaty. W tej pozycji zawiera się podatek od nieruchomości. Według agencji pośrednictwa obrotem nieruchomości średni miesięczny koszt podatku, utrzymania czystości, ubezpieczenia oraz ochrony to około 5 zł/m² powierzchni [11].

- ENDO – 750 zł/mies. (100%),
- PreNitLPC® – 750 zł/mies. (100%).

Pozycję usługi obce oraz podatki i opłaty nie różni się, gdyż koszty te są analogiczne, niezależnie od rozpatrywanej technologii.

W tab. II zestawiono koszty całkowite uwzględniające wszystkie już omówione koszty rodzajowe w ujęciu miesięcznym.

TABELA II. Miesięczne koszty całkowite

Koszty całkowite, PLN	Technologia procesu			
	ENDO		PreNitLPC®	
	930°C	980°C	980°C	1030°C
0,4	60 282 (100%)	X	63 708 (105,7%)	64 072 (106,3%)
0,6	59 223 (100%)	X	63 824 (107,8%)	64 312 (108,6%)
0,9	58 397 (100%)	X	63 624 (109%)	64 038 (109,7%)
1,2	57 710 (100%)	X	62 923 (109%)	63 657 (110,3%)
2,0	X	57 503 (100%)	61 567 (107,1%)	62 873 (109,3%)
3,0	X	56 684 (100%)	60 626 (107%)	61 640 (108,7%)
5,0	X	55 775 (100%)	59 040 (105,9%)	60 653 (108,7%)

Analizując przedstawione zestawienie, można zauważyć, że miesięczne koszty całkowite podmiotu wykorzystującego technologię PreNitLPC są o 5 ÷ 11% wyższe w porównaniu z kosztami podmiotu pracującego w technologii ENDO. Zaznaczyć należy jednak, że koszty całkowite nie odzwierciedlają możliwej liczby procesów zrealizowanych według poszczególnych technologii w analizowanym okresie. Ze względu na różnice w temperaturach procesów, a więc we współczynnikach dyfuzji węgla, inne są czasy niezbędne do uzyskania założonych grubości warstw wierzchnich. W konsekwencji różna jest liczba możliwych do zrealizowania obróbek, zestawienie podano w tab. III.

Analizując wyniki (tab. III), można zauważyć, że dzięki znacznemu skróceniu procesów realizowanych według technologii PreNitLPC®, w porównaniu z ENDO, możliwe jest wykonanie przez rozpatrywany podmiot większej ich liczby, a więc nawęglanie większej liczby elementów w tym samym okresie.

TABELA III. Liczba zrealizowanych procesów w miesiącu dla poszczególnej technologii

Liczba zrealizowanych procesów w miesiącu	Technologia procesu			
	ENDO		PreNitLPC®	
	930°C	980°C	980°C	1030°C
0,4	86 (100%)	X	97 (112,8%)	91 (105,8%)
0,6	65 (100%)	X	88 (135,4%)	88 (135,4%)
0,9	52 (100%)	X	70 (134,6%)	77 (148%)
1,2	38 (100%)	X	54 (142,1%)	66 (173,7%)
2,0	X	27 (100%)	29 (107,4%)	42 (155,6%)
3,0	X	14 (100%)	15 (107,1%)	24 (171,4%)
5,0	X	5 (100%)	6 (120%)	10 (200%)

Różnice te wahają się od blisko 6% – dla warstw o niewielkiej grubości, do 100% – dla warstw grubych.

Zważywszy na fakt, że koszty całkowite są nieznacznie (5 ÷ 11%) większe w przypadku technologii próżniowej PreNitLPC®, ale liczba zrealizowanych przy tych nakładach finansowych procesów jest już zdecydowanie większa na korzyść technologii PreNitLPC®. Różnica wynosi od 6% do aż 100% w zależności od temperatury procesu i głębokości nawęglania. Po uwzględnieniu danych zawartych w tab. II i III oraz założonej wielkości wsadu netto (270 kg), możliwe było obliczenie kosztów jednostkowych [PLN/kg] dla poszczególnych technologii, które zostały przedstawione w tab. IV.

Zestawienie kosztów jednostkowych uwidacznia przewagę ekonomiczną technologii PreNitLPC®. Już dla rozpatrywanej najcieńszej warstwy 0,4 mm wykonywanej w temperaturze procesu 980°C, bardziej opłacalna jest technologia próżniowa. Analizując koszt jednostkowy, technologia PreNitLPC® jest tańsza o ponad 6% dla warstw o niewielkiej grubości, do nawet 45% w przypadku warstw najgrubszych (rozpatrywanych w analizie).

TABELA IV. Jednostkowe koszty wytwarzania nawęglanych warstw wierzchnich

Koszt jednostkowy, PLN/kg wsadu	Technologia procesu			
	ENDO		PreNitLPC®	
	930°C	980°C	980°C	1030°C
0,4	2,60 (100%)	X	2,43 (93,5%)	2,60 (100%)
0,6	3,37 (100%)	X	2,69 (79,8%)	2,71 (80,4%)
0,9	4,16 (100%)	X	3,37 (81%)	3,08 (74%)
1,2	5,62 (100%)	X	4,32 (76,9%)	3,57 (63,5%)
2,0	X	7,89 (100%)	7,86 (99,6%)	5,54 (70,2%)
3,0	X	15,0 (100%)	14,97 (99,8%)	9,51 (63,4%)
5,0	X	41,31 (100%)	36,44 (88,2%)	22,46 (54,4%)

Podsumowanie

Największy wpływ na ocenę potencjalnej inwestycji mają dwie grupy czynników: ekonomiczne i technologiczne. W wielu wypadkach powoduje to znaczne trudności z osiągnięciem konsensusu w ocenach przyznawanych poszczególnym pomysłom, gdyż zazwyczaj między wymogami technologicznymi i ekonomicznymi istnieje sprzeczność, polegająca na tym, że im wyższy techniczny poziom prezentuje rozwiązanie innowacyjne, tym większe są koszty jego realizacji [12]. W przypadku analizowanego porównania nie obserwujemy takiego konfliktu. Technologia PreNitLPC® reprezentuje wyższy poziom zaawansowania technicznego i pozwala na uzyskanie warstw o porównywalnych lub lepszych właściwościach wytrzymałościowych. Co prawda wymaga ona większych nakładów inwestycyjnych, więc wyższe są koszty całkowite, ale wada ta jest z nawiązką rekompensowana przez zdecydowanie większe moce przerobowe tej technologii. Rozpatrując i reasumując wszystkie aspekty, zauważamy, że dla wszystkich rozpatrywanych porównań technologia PreNitLPC® tworzy niższe koszty jednostkowe obróbki, a więc jest doskonałą alternatywą dla dotychczas stosowanych metod nawęglania. Dotyczy to zarówno wydziałów obróbki cieplnej i ciepłno-chemicznej w przedsiębiorstwach, jak i dzięki uniwersalności i łatwości adaptacji do nowych, zmiennych wymogów klienta – hartowni usługowych. Należy również pamiętać, że w zarządzaniu procesem technologicznym jednym z najważniejszych kryteriów jest czas dostawy do klienta [13], zatem skrócenie czasu obróbki bez pogorszenia właściwości użytkowych wpisuje się również w realizację tego kryterium.

LITERATURA

1. Wróbel J., Ludański M.: Projektowanie maszyn zorientowanych kosztowo. Przegląd Mechaniczny nr 5/2002.
2. Patent PL 204747 B1, P. Kula, J. Olejnik, P. Heilman: Sposób nawęglania wyrobów stalowych w podciśnieniu.
3. Patent EP 1 558 781, P. Kula, J. Olejnik, P. Heilman: Method for under – pressure carburizing of steel workpieces.
4. Patent US 7 550 049, P. Kula, J. Olejnik, P. Heilman: Method for under – pressure carburizing of steel workpieces.
5. Kula P., Pietrasik R., Dybowski K., Korecki M., Olejnik J.: PreNitLPC® – The modern technology for Automotive, New Challenges in Heat Treatment and Surface Engineering, Conference in honour of prof. Bozidar Liscic, 09-12 June 2009 Dubrownik – Cavtat, Croatia, pp. 165 – 170.
6. Paszula M.: Klasyfikacja kosztów na potrzeby sporządzenia porównawczej wersji rachunków zysków i strat, źródło elektroniczne: <http://e-rachunkowosc.pl/artukul.php?view=669> [dostęp 9 lutego 2010 r.]
7. Matyszewska E.: Nie wiadomo jak liczyć ryczałt, źródło elektroniczne: <http://podatki.gazetaprawna.pl/artykuly/3645>, nie wiadomo jak liczyć ryczałt.html [dostęp 9 lutego 2010 r.]
8. Raport GUS, Załudnienie i wynagrodzenia w gospodarce narodowej w I-III kwartale 2009 roku. GUS, Warszawa 2009.
9. Paszula M.: Klasyfikacja kosztów na potrzeby sporządzenia porównawczej wersji rachunków zysków i strat, źródło elektroniczne: <http://e-rachunkowosc.pl/artukul.php?view=669> [dostęp 9 lutego 2010 r.]
10. Korecki M.: Reducing carburizing costs by PreNitLPC (niepublikowane wyniki badań dotyczących zużycia energetycznego PreNitLPC® oraz ENDO).
11. Agencja JARTOM, Wynajęcie magazynu będzie tańsze, źródło elektroniczne: <http://dom.money.pl/wiadomosci/artykuly/wynajecie;magazynu;bedzie;tansze,145,0,354705.html> [dostęp: 9 lutego 2010 r.]
12. Butryn W.: Kryteria oceny i selekcji innowacyjnych rozwiązań w polskich przedsiębiorstwach przemysłowych, Gazeta Innowacje nr 32, źródło elektroniczne: <http://www.gazetainnowacje.pl/innowacje32/?page=8> [dostęp: 9 lutego 2010 r.]
13. Morek R., Patrycy A.: Obróbka form z wykorzystaniem HSC, Design News Polska, Marzec 2007, źródło elektroniczne: [http://www.designnews.pl/no_cache/menu-gorne/artykuly/article/obrobka-form-z-wykorzystaniem-hsc.html?tx_ttnews\[backPid\]=1006&chash=212e2e486f](http://www.designnews.pl/no_cache/menu-gorne/artykuly/article/obrobka-form-z-wykorzystaniem-hsc.html?tx_ttnews[backPid]=1006&chash=212e2e486f) [dostęp 9 lutego 2010 r.]

